

**University of Groningen**

## **Dynamic stabilization of large flexible space structures**

Bontsema, Jan

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1989

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Bontsema, J. (1989). *Dynamic stabilization of large flexible space structures*. s.n.

### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

**Dynamic stabiliztion of large flexible space structures**  
**Dynamische stabilisatie van grootschalige flexibele**  
**constructies in de ruimte**

**J. Bontsema**

**Samenvatting:**

Na de tweede wereldoorlog is de ruimtevaart met grote sprongen vooruit gegaan, waarbij de landing van de eerste mens op de maan één van de hoogtepunten was. Sinds die tijd zijn er steeds betere raketten ontwikkeld en daarnaast is een ruimteveer ontwikkeld, dat meerdere keren gebruikt kan worden. Door deze ontwikkelingen is het mogelijk geworden om bijvoorbeeld permanent bemande ruimte stations te bouwen en om grote constructies in onderdelen de ruimte in te sturen om ze daar te assembleren. In dit proefschrift wordt als voorbeeld van een grote constructie een communicatiesatelliet beschouwd. Deze communicatiesatelliet bestaat in dit geval uit een centraal satellietlichaam met lange armen waarop zonnepanelen zijn bevestigd. Deze zonnepanelen zorgen voor de benodigde energie van de satelliet. Om zo'n constructie bijvoorbeeld met behulp van een ruimteveer de ruimte in te kunnen sturen moeten de afmetingen bij de lancering klein zijn en ook moet de totale massa van de constructie niet te groot zijn. Dit leidt er toe dat de constructie in uitgevouwen toestand behoorlijk flexibel kan zijn, wat weer tot problemen met de standregeling van de satelliet kan leiden. Men dient dus een regelaar te ontwerpen die met deze flexibiliteit rekening houdt. Een ander probleem met deze grootschalige constructies is dat modellen hiervan gecompliceerd zijn of dat de modellen niet nauwkeurig de werkelijkheid beschrijven.

In dit proefschrift wordt dit probleem, het zogenaamde robuust regelen, bestudeerd aan de hand van enkele eenvoudige modellen voor zulke constructies.

De inhoud van het proefschrift is als volgt:

1. Eenvoudige modellen voor flexibele constructies.

Voor een één-dimensionale Euler-Bernoulli balk wordt de partiële differentiaalvergelijking gegeven. Vanuit dit model worden 2 modellen afgeleid voor een balk met demping en een model bestaande uit 2 balken verbonden door een centraal lichaam. Voor deze drie modellen worden vervolgens toestandsruimte representaties gegeven en met behulp van de

halfgroepen theorie wordt aangetoond dat er unieke oplossingen van de differentiaalvergelijkingen bestaan.

2. Modellen met in- en uitgangen.

Het uiteindelijke doel van deze studie is het ontwerpen van een regeling voor de satelliet. Voor de modellen van hfdst. 1. worden regelingen en uitgangen gedefinieerd. In de toestandsruimte modellen leidt dit tot onbegrensde ingangs- en/of uitgangs-operatoren. Deze onbegrensdsheid leidt tot de vraag onder welke condities er oplossingen bestaan voor deze inhomogene differentiaalvergelijkingen. In dit hoofdstuk worden deze voorwaarden bepaald en er wordt aangetoond dat de modellen hieraan voldoen.

3. Overdrachtsmatrices.

Voor de modellen van hfdst. 2 worden de overdrachtsmatrices gegeven. Deze overdrachtsmatrices geven het verband tussen de Laplace transformaties van de in- en uitgangen. Het wordt aangetoond dat deze overdrachtsmatrices tot een bepaalde klasse van transferfuncties voor oneindig dimensionale systemen behoren. Verder worden de polen en nullen van de overdrachtsmatrices gegeven.

4. Robuuste regelaar ontwerp.

In dit hoofdstuk worden regelontwerpen voor de drie modellen uit de eerste drie hoofdstukken besproken. Eerst wordt de combinatie van model en regelaar, het zogenaamde feedback systeem, besproken, zowel in termen van de overdrachtsmatrices als in termen van de toestandsruimtemodellen. Er wordt aangetoond onder welke condities deze feedback systemen goed gesteld zijn.

Vervolgens wordt ingegaan op de theorie van de robuuste regelaars, die gebaseerd is op systemen gegeven door overdrachtsmatrices. De afwijking of perturbatie van het nominale of ontwerp-model wordt gedefinieerd als een additieve perturbatie van de overdrachtsmatrix. Als deze perturbatie kleiner is dan een robuustheidsmaat, die bepaald wordt door het nominale model en de regelaar, dan zal deze regelaar ook het verstoorde model stabiliseren.

De drie behandelde regelontwerpen zijn: een optimaal robuuste regelaar, een LQG regelaar en een LQG regelaar van gereduceerde orde .

Tot slot worden de mogelijke toepassingen van de robuuste regeltheorie besproken.

5. Numeri

De the

modell

Er wor

kunnen

parame

Zowel h

verschil

6. STAR.

De mod

dimensie

structuur

structuur

de zon

STAR-ma

Getoond

eindige-e

overdrach

model is

levert dus

Vervolgen

5. Numerieke resultaten en simulaties.

De theorie en regelontwerpen uit hfdst. 4 worden hier toegepast op de drie modellen uit de eerste drie hoofdstukken.

Er wordt getoond dat de drie modellen door één regelaar gestabiliseerd kunnen worden en voor één van de modellen wordt gekeken naar het effect van parametervariaties op de stabilisatie van het feedback systeem.

Zowel het ongeregelde gedrag als het gedrag van de feedback systemen voor verschillende situaties worden geïllustreerd aan de hand van simulaties.

6. STAR.

De modellen uit de eerste drie hoofdstukken waren voorbeelden van oneindig dimensionale systemen en representeerden slechts zeer vereenvoudigde structuren. In dit hoofdstuk wordt een model voor een realistischer structuur behandeld: een satelliet met twee flexibele aanhangsels, waarop de zonnepanelen zijn gemonteerd. Deze aanhangsels bestaan uit zogenaamde STAR-masten, die door Fokker Ruimtevaart BV zijn ontworpen.

Getoond wordt hoe uit de gereduceerde data, die het resultaat zijn van een eindige-elementen-pakket en die door Fokker zijn geleverd, een overdrachtsmatrix en een toestandsruimte model kunnen worden bepaald. Het model is een eindig dimensionaal lineair systeem en de goedgesteldheid levert dus geen problemen op.

Vervolgens is weer de theorie uit hfdst. 4 toegepast op dit model.

ingen van de

a een regeling  
gelingen en  
leidt dit tot  
rensheid leidt  
an voor deze  
worden deze  
dellen hieraan

gegeven. Deze  
sformaties van  
chtsmatrices tot  
g dimensionale  
llen van de

n uit de eerste  
van model en  
in termen van  
temodellen. Er  
en goed gesteld

regelaars, die  
de afwijking of  
nieerd als een  
e perturbatie  
het nominale  
stoorde model

regelaar, een

e regeltheorie